

2014年、2015年と相次いで世界平均気温*1の最高記録を更新しました。日本でも2013年の夏は、全国各地で猛暑となり、高知県四万十市の41.0℃を筆頭に、143の観測所で日最高気温の記録を更新しました。ではこれらの現象は地球温暖化*2が原因だと言えるのでしょうか？

確かにIPCCの評価報告書などでは、暑い日や熱波が増加するとの予測がされていますが、これは長期にわたる、世界規模の傾向をさして、先のような特定の年や場所の高温については、地球温暖化によるものであるかどうかの判断はなかなか難しいのが現実です。

そんな中最近では、このような個別の異常気象についても、地球温暖化の寄与の有無、さらにはその寄与の程度まで評価ができるようになりつつあります。今回はそんな地球温暖化に関する最新の気候科学について紹介します。

異常気象とは？

日本などでは、異常気象という言葉がよく使われます。気象庁の定義では「ある場所、ある時期において30年に1回しか起きないような、まれな現象や状態」だとしています。これに対して日降水量が100mmを超える大雨や強風、極端な高温や低温といった、30年に1回よりも頻繁に起こる現象も含めて極端現象*3という場合がありますが、ここでは異常気象について考えます。

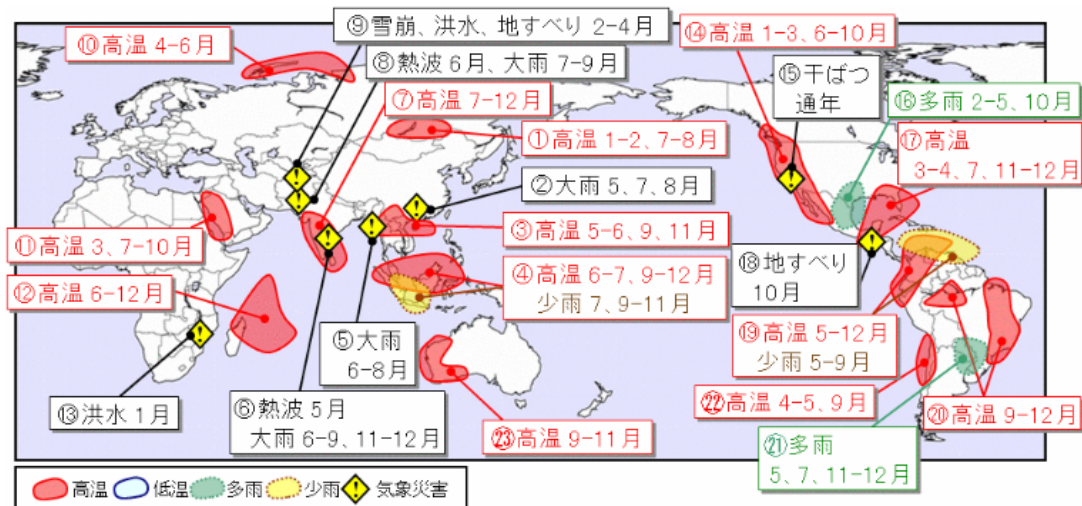
最近起こった異常気象

図1は気象庁が発表した、2015年に起こった世界の異常気象の主な特徴と気象災害を表したものです。2015年は世界の年平均気温が過去最高を記録したこともあり、世界各地で異常高温となりました。中でも西シベリア北部周辺では平年値を4.7℃も上回る異常高温となり、北極圏の気温も1900年の観測開始以来過去最高となりました。さらに5月下旬に起こったインドの熱波は死亡者2300人以上

という大きな被害をもたらしました。

その一方で、地球温暖化にもかかわらず近年ユーラシア大陸の中緯度地域で寒冬が増えており、日本も2011～12年は大雪の被害が相次ぎました。また1998～2012年の地球の平均気温上昇も停滞状態にあったことが報告されています。さてこれらの異常気象のうち、どの事象が地球温暖化の影響を受けているのでしょうか？それを考える前に、まずは異常気象について

図1 2015年に起こった世界の異常気象



(出所) 気象庁

* 1 世界平均気温は全球を緯度、経度5度ごとの格子に分け、各格子の陸域の気温及び海域の海面水温をもとにして求められています。日本の平均気温については都市化の影響を受けにくい17地点のデータをもとにしています。

* 2 気象庁やIPCC評価報告書の定義では、人為起源の要因による気温の上昇を地球温暖化としています。

* 3 極端現象の場合も、異常気象と同様、それぞれ出現の基準が明示されています。IPCCの報告書などではこの極端現象という表現が使われています。

て考えてみましょう。

自然のゆらぎについて

地球上の気候は、ある平均的な状態の周りでゆらいでいます。この自然のゆらぎ(内部変動^{*4})は、大気や海洋などの気候システムの相互作用によって生じていて、これによって暑い夏や寒い冬が起こっています。

この自然のゆらぎの中には、エルニーニョ/ラニーニャ現象、北極振動、偏西風の蛇行といったものがあります。

例えばエルニーニョ現象は東部太平洋赤道域で、2～7年おきに海面水温が平年より高くなり、半年から1年半程度続く現象で、日本では暖冬、冷夏となる傾向があります(ラニーニャ現象はこの逆)。このエルニーニョ/ラニーニャ現象は日本だけでなく、広く

太平洋の両岸に異常気象を引き起こす大きな要因となっています。

北極振動は、冬季に北極域と中緯度域の間で、一方の気圧が上昇すると他方は下降するといったシーソーのような繰り返しをさします。例えば負の北極振動の場合、北極域で気圧が上がると、ユーラシア大陸の中緯度から東アジアでは気圧が下がり、これによって北極域で高温、中緯度域で低温となります。

対流圏上空には西に流れる2つの偏西風ジェット気流があります。偏西風の蛇行は、この2つの気流が様々な要因で南北に蛇行することで、世界各地に猛暑や寒波をもたらしています。

異常気象の主な要因は自然のゆらぎ

自然のゆらぎの中で、これまで

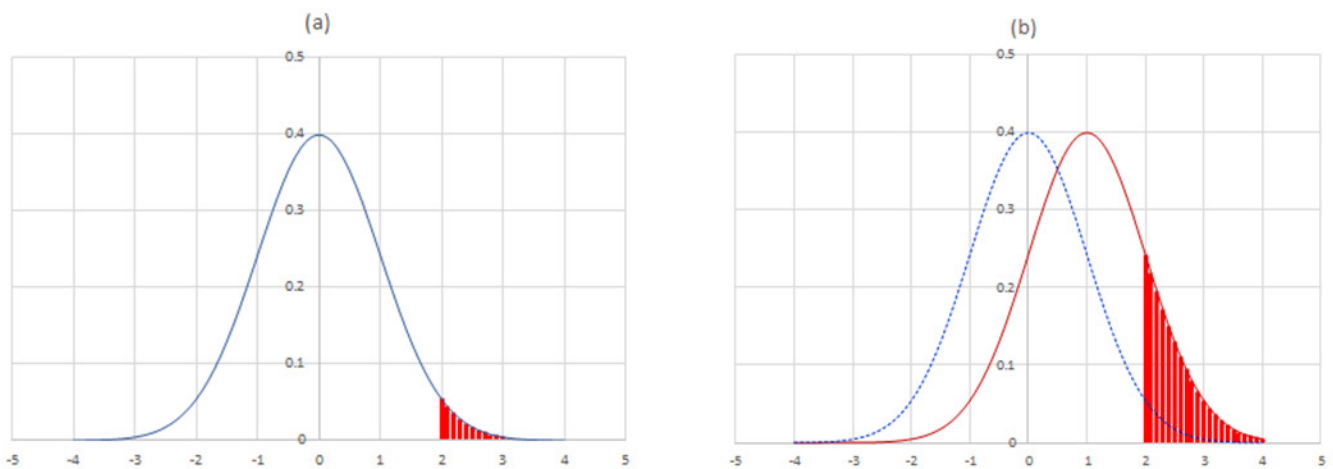
よりも極端に大きな幅のゆらぎが生じた場合に、異常気象が発生したと言われます。ただここで使われている「異常」はゆらぎの「幅(強さ)」のことではなく、30年に1回といった「発生頻度の低さ(起こり難さ)」を意味しています。

つまり、最高気温がこれまでより「何℃高い」といった上昇幅の「異常」ではなく、「過去何年間起こったことのない気温」という、その事象の時間的(発生頻度)の「異常」として異常気象は捉えられています。

地球温暖化は異常気象の頻度に影響

異常気象の「異常」はその程度ではなく「発生頻度」をさしていることから、地球温暖化の影響も、異常気象の発生頻度にどのよう

図2 温暖化による気温の出現頻度の変化



(出所) CASA

* 4 人間活動と無関係に起こる自然変動には、内部変動と太陽活動や火山噴火などの外部要因がありますが、異常気象の主な要因は内部変動だとされています。

* 5 「平均からのズレ」の分布を示すもので、グラフの横軸が、前述のゆらぎの「幅」にあたります。

に影響しているかの評価になります。

図2は温暖化による気温の出現頻度の変化を示したものです。(a)は現在の気候で、縦軸はそれが起こる頻度を、横軸は気温を標準偏差^{*5}で示した値で、0が現在の平均気温ということになります。この0の値より右に行くと平年より高温、左に行くと低温で、いずれの場合もその発生頻度は小さくなっていきます。(a)の塗りつぶした部分は、ある温度以上になる異常高温の頻度として示されています。

地球温暖化で平均気温の上昇が起こった場合、(a)→(b)のように、分布は高温側の右にシフトします(ここでは0→1のシフトを想定しています^{*6})。

ここで注目したいのは、(a)と(b)の2つの塗りつぶした部分、つまり異常高温の頻度の変化です。現在の異常高温の頻度が、温暖化の影響によって、(b)では(a)の約6倍になっています。これは30年に1回起こっていた異常気象が、5年に1回の頻度で起こることを意味します。このことから地球温暖化は、異常高温といった異常気象の頻度(リスク)を増やしている要因であることがわかります。

地球温暖化のリスクを評価する

実際、ある個別の異常気象が自然のゆらぎに加えて、地球温暖化の影響をどの程度受けているかがわかれば、今後のリスク評価の活用につながります。これまでも気候モデルを使って、気候変化やその原因特定に関する研究が行われてきていますが、さらにある年のある特定の地域で起きた異常気象の事例について、地球温暖化の影響を定量的に評価しようと始められたのが、イベント・アトリビューション(Event Attribution: EA)という研究です。

2015年にはスイスの大気・気象科学研究所のチームが、特定の異常高温の約4分の3、異常降雨の5分の1近くの発生に地球温暖化が関与しているとの研究結果を発表しています。さらに工業化以降2℃上昇した場合は異常高温の発生確率は現在(0.85℃上昇)の5倍以上に上昇し、異常降雨についても40%が地球温暖化によるものとしています。また日本の研究でも2013年の日本の猛暑は、地球温暖化で発生確率が約10%増加したという評価をしています。

このほか最近話題になっているいくつかの異常気象についてもみていこうと思います。

最近のユーラシアの寒冬

地球が温暖化しているにもかかわらず、最近ユーラシア大陸の中緯度域で寒冬になる頻度が増加し

ています。日本やアメリカ東岸が大雪の寒波に見舞われた原因も、この負の北極振動に加えて偏西風の蛇行が原因で起こったとされています。

東京大学大気海洋研究所はこの原因について、気候シミュレーションの結果から、北極振動が負となっていることと、それに加えて、地球温暖化による北極のバレンツ海とカラ海の海水の減少が、この大気パターンの頻度を2倍以上高くしているとの分析結果を発表しました。つまりこの寒冬の原因は、自然のゆらぎである北極振動と地球温暖化の両方によるものとしたのです。

ただ、今起こっているこの寒冬の傾向は、地球温暖化の過程で生じる過渡現象で、いずれこの傾向を打ち消して温暖化に転じるとの予測をしています。

地球温暖化の停滞(ハイエイト)

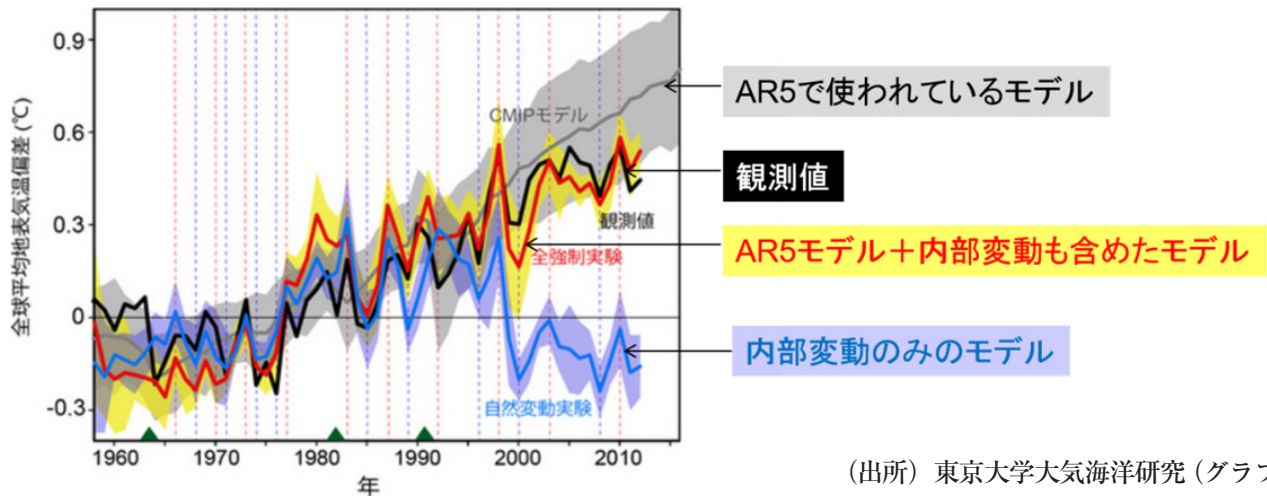
1998～2012年の地球の平均気温上昇の停滞については、IPCC第5次評価報告書(AR5)の予測がこの期間の実測値を再現できていなかったことから、「温暖化は止まった」といった議論まで起こりました^{*7}。

この停滞の原因は、赤道太平洋貿易風の強まりによるその海の表層や上空の、温度上昇の鈍化で生じた気温の低下、すなわち自然の

*6 この1目盛の標準偏差は、例えば日本の東京の場合は約1～1.5℃上昇に相当します。

*7 この傾向は気温上昇だけにみられ、北極海の海水面積の減少や海面水位の上昇など、他の要素については地球温暖化の傾向が現れています。

図3 2000年代の気温変化と自然変動の寄与



(出所) 東京大学大気海洋研究 (グラフ)

ゆらぎ(気候の内部変動)によることが示されました。一方AR5で気温が再現できなかったのは、AR5のモデルがそもそも内部変動を組み込んでいないからで、このモデルに内部変動モデル(2000年代の 0.11°C の寒冷化)を含めると観測値をうまく再現できることも示されました(図3)。そしてこの気温の停滞についても、やがては上昇に転ずるとの予測がされています。

2012年「九州北部豪雨」

2012年梅雨期に九州を襲った「九州北部豪雨」の原因については、東シナ海の季節的な水温上昇が要因であるとされました。そして今後地球温暖化で東シナ海の水温が上昇すると、九州では今世紀末には梅雨期に入るのが早まり、「九州北部豪雨」のような集中豪雨が6月下旬にも起こりうること、また7月に発生するこの程度の豪雨でも、雨量はさらに増加するという予測がされています。

このように地球温暖化の影響を

予測し、そのリスク評価を行うことは今後の防災や減災といった適応策の策定においても非常に重要な役割を果たします。ただイベント・アトリビューションの予測についてはまだモデルにおける不確実性や、結果が出るまでに時間がかかるなどの課題もあり、今後その解決に向けた取り組みが求められています。

地球温暖化は自然のゆらぎにも影響！

2015年オーストラリアの気象学者らの国際研究チームは、内部変動であるラニーニャ現象が地球温暖化の影響を受け、今世紀中には極端なラニーニャ現象の発生頻度が23年に一度から13年に一度、つまり約2倍に上昇するという報告を出しました。さらにこの上昇分の約75%が極端なエルニーニョの直後に起こることも示されました。つまり地球温暖化は自然のゆらぎである現象についても影響を及ぼし始めてきている可能性があります。そしてこのような正反対

の極端現象が交互に起きると、太平洋岸の地域において極端な降雨と乾燥が頻繁に繰り返されることになり、その影響や被害は甚大なものになると考えられます。

このような最新の気候科学は、地球温暖化が多くの異常気象に様々な形で影響を及ぼしていることを明らかにしてきています。そして同時にその結果は、地球温暖化の影響を食い止めるために、私たちにさらなる対策を求める、強いメッセージでもあると思います。

最後に、2014年と2015年の世界平均気温の更新については、まだ詳しい評価はされていませんが、2015年は過去3番目に大きいエルニーニョと、地球温暖化が主な要因だと考えられています。これに対して2014年の記録はエルニーニョが起こらなかった中での記録更新であり、もしかすると2012年まで起こっていた地球温暖化の停滞の「終わり」を示すものではないかとの予測がされています。